

## К ИЗМЕРЕНИЮ ИМПУЛЬСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ШАРОВЫМ РАЗРЯДНИКОМ

С. С. ПЕЛЬЦМАН, Б. В. СЕМКИН

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института высоких напряжений)

Пробивное напряжение шарового разрядника в большом интервале времен не зависит от длительности приложения напряжения и закона его изменения во времени, однако при малых временах воздействия существенную роль играет запаздывание разряда. Существующие стандарты допускают использование калибровочных таблиц, когда время нарастания напряжения до максимального не менее 1 мксек, а время спада от максимального до половинного значения не менее 5 мксек, при этом погрешность измерения не должна превышать 3%. Изучению связи пробивного напряжения шарового разрядника с предпробивным временем посвящены многие исследования [1—5].

Белаши и Тэгю [1] изучали пробой ряда промежутков между шарами 6,25; 25 и 200 см и показали, что при времени до пробоя 1 мксек ошибки измерений превышают 3%.

Хагенгут [3—4] для шаров 25 см в промежутке длиной 4 см и скорости нарастания 1000 кв/мксек показал, что по отношению к предпробивному времени 2 мксек перенапряжения, необходимые для пробоя за 1; 0,5; 0,2 мксек, составляют соответственно 13; 54 и 91%. Подсветка промежутка ртутной лампой в этих экспериментах не влияла на результаты, и Хагенгут предположил, что перенапряжения при пробое за короткие времена определяются скорее процессом формирования искрового разряда, чем статистическим временем запаздывания.

Парк и Конэс [5] исследовали вольтсекундные характеристики пробоя промежутка 6 см для шаров диаметром 12,5 и 25 см на импульсах отрицательной полярности в широком интервале предпробивного времени (0,03—100 мксек).

Отклонения пробивных напряжений от значений, указанных в стандартах, при времени от момента приложения напряжения до возникновения пробоя 2 мксек достигали 10%.

Резюмируя предыдущее, необходимо отметить, что измерение импульсов с амплитудой, исчисляемой сотнями киловольт, с предпробивным временем менее 2 мксек с помощью шаровых промежутков не может гарантировать погрешностей в пределах 3%. Имеющиеся в литературе систематические данные [1] о перенапряжениях при пробое с малым предпробивным временем ( $t < 1$  мксек) приведены относительно напряжения, вызывающего пробой спустя 2 мксек, когда время запаздывания разряда еще весьма существенно [5]. Данные о пробивном напряжении в широком интервале времени ограничены отдельными зна-



чениями межэлектродных расстояний [3—5]. Как было показано в [1], коэффициент импульса зависит от отношения длины промежутка к диаметру шара, что не позволяет экстраполировать результаты исследований [3—5] на другие межэлектродные промежутки.

В данной работе приведены результаты систематических измерений импульсных пробивных напряжений ряда промежутков для шаров диаметром 12,5 см при обеих полярностях импульса.

Скорость нарастания напряжения регулировалась при помощи напряжения генератора и изменения параметров разрядного контура. Для поддержания линейности нарастания напряжения вплоть до пробоя амплитуда импульса, генерируемого источником, примерно в два раза превышала пробивное напряжение промежутка.

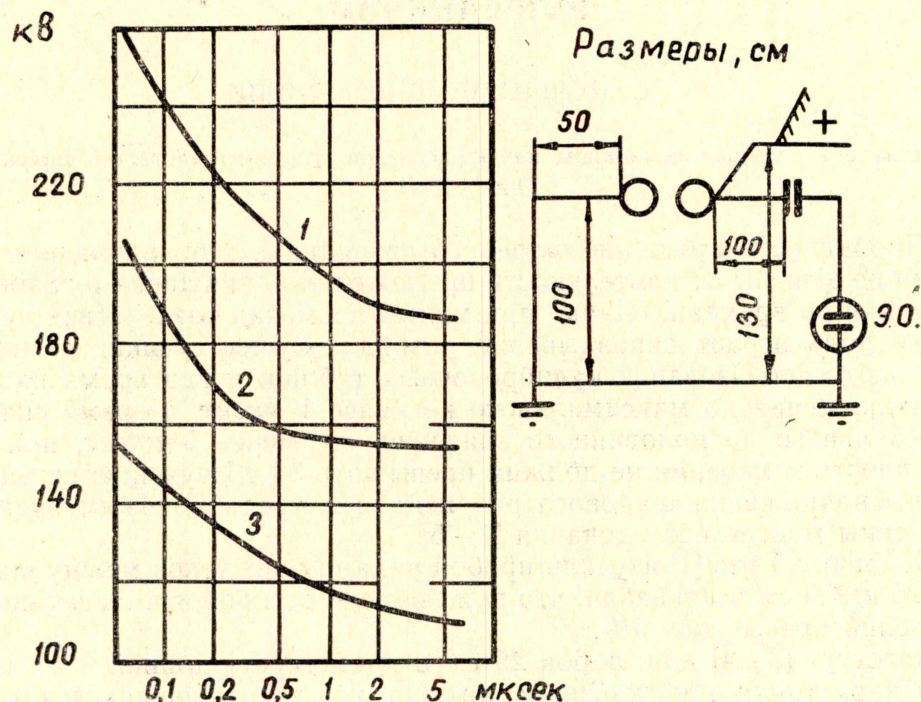


Рис. 1

Для регистрации использовались емкостный делитель напряжения и электронно-лучевой осциллограф ОК19-М2. В качестве источника ионизирующего излучения использовались разряды в искровых промежутках генератора как наиболее эффективное средство ионизирующей подсветки [6—7]. Пять искровых промежутков длиной 2 см были расположены друг над другом через 40 см. Расстояния от исследуемого промежутка до ближайшего ионизирующего составляло 150 см в соответствии с требованиями МЭК. Расположение шаровых измерительных промежутков относительно земли и посторонних объектов показано на рис. 1 и соответствует стандартным требованиям. Заземление выполнялось медной шиной шириной 50 мм.

Соблюдение стандартных условий и ввод поправки на температуру и плотность окружающей среды обеспечивают погрешность градуировки делителя не более  $\pm 3\%$ . Общая погрешность исследуемых значений пробивных напряжений шаровых промежутков не превышала  $\pm 5,5\%$  для импульсов отрицательной полярности и  $\pm 5\%$  для положительной.

Относительная ошибка значений, полученных при различной длительности напряжения до пробоя, составляла не более 2%.



## Результаты экспериментов

На промежуток между сферами диаметром 12,5 см подавались импульсы напряжения с различной скоростью нарастания напряжения. Вольтсекундные характеристики, приведенные в настоящей работе, характеризуют средние значения, полученные по 20 точкам. Зависимости получены при изменении окружающей температуры в пределах 18—21°C, атмосферного давления 754—762 мм рт. ст., относительной влажности 50—60%. Свыше 90% всех точек отличались от построенных характеристик не более, чем на  $\pm 2,5\%$ . На рис. 1 показаны вольтсекундные характеристики сферического разрядника с диаметром сфер 12,5 см при положительной полярности высоковольтного электрода для промежутков длиной 8,6 и 4 см (кривые 1, 2, 3 соответственно).

На рис. 2 приведены вольтсекундные характеристики аналогичных промежутков при отрицательной полярности импульса. Пунктирной линией дана характеристика разрядника 12,5 см при расстоянии между электродами 6 см, полученная в [5].

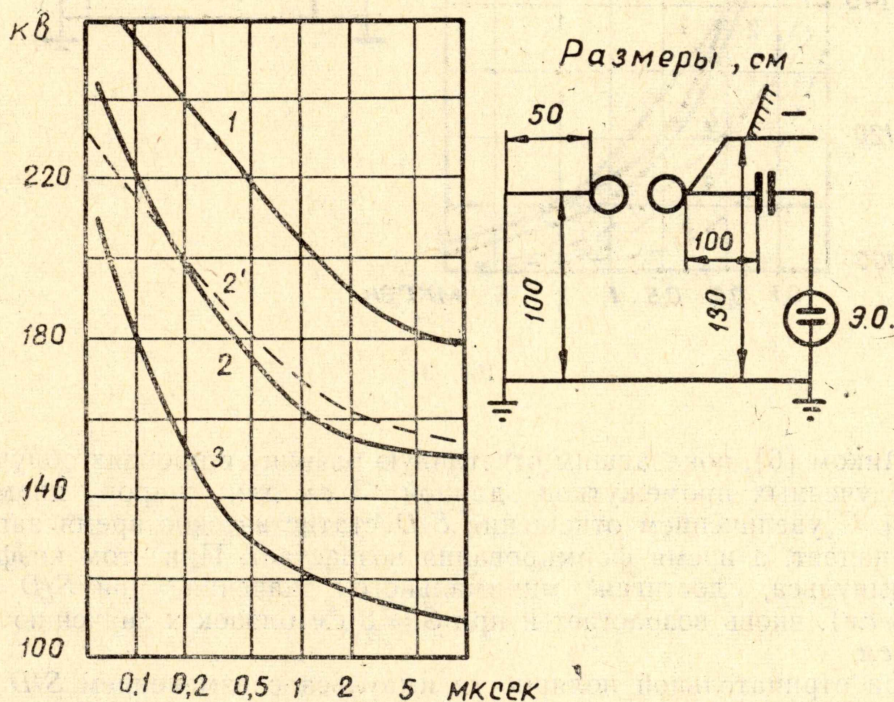


Рис. 2

По вольтсекундным характеристикам построены зависимости относительных перенапряжений при пробое шарового разрядника в диапазоне предпробивных времен (0,06—10 мксек), относительно пробивных напряжений, указанных в калибровочных таблицах и соответствующих значениям, к которым стремятся вольтвременные характеристики при возрастании предпробивного времени. Указанные зависимости приведены на рис. 3. Кривые 1, 2, 3 даны для промежутков 4, 6 и 8 см при импульсах отрицательной полярности, кривые 4, 5, 6 для тех же промежутков, но при положительной полярности импульса.

Коэффициент импульса —  $K$  при отрицательной полярности импульса существенно выше, чем при положительной. Этот факт объясняется тем, что поле в промежутке между шарами не строго однородно и полярность может влиять на развитие искрового разряда.



Своеобразно изменяется коэффициент импульса шарового разрядника при изменении отношения длины промежутка —  $S$  к диаметру шара —  $D$ . При положительной полярности высоковольтного электрода и малом расстоянии между шарами ( $S = 4$  см;  $S/D = 32\%$ ) коэффициент импульса относительно высок за счет экранирования промежутка от источника излучения. Влияние облучения в таких промежутках дока-

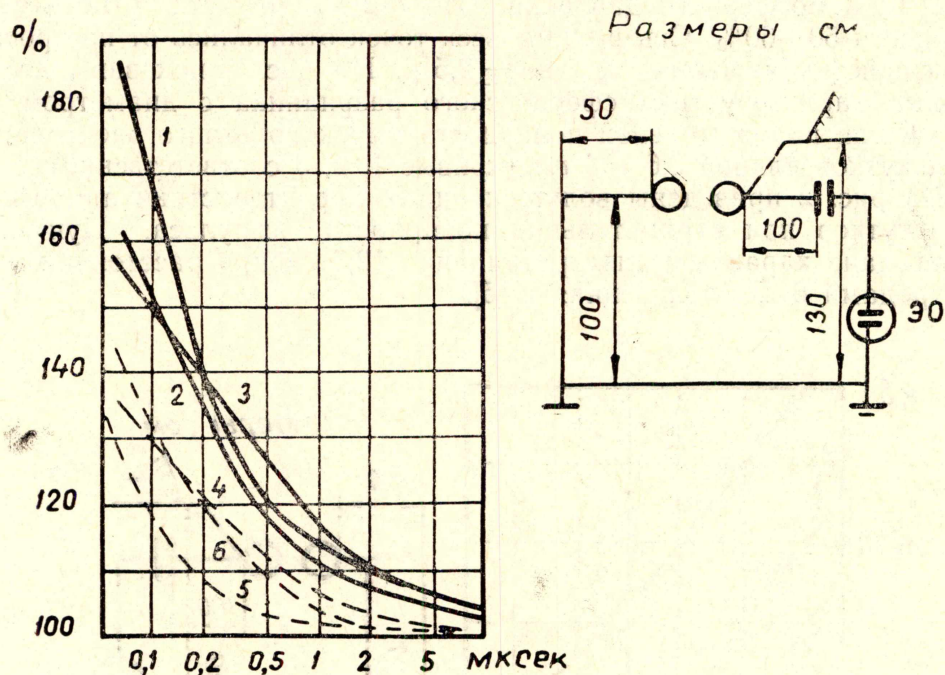


Рис. 3

зано Миком [6], показавшим отчетливую разницу в пробах облученных и необлученных промежутков длиной 3 см для шаров диаметром 12,5 см. С увеличением отношения  $S/D$  статистическое время запаздывания падает, а время формирования возрастает. При этом коэффициент импульса, достигая минимального значения при  $S/D = 50\%$  ( $S = 6$  см), вновь возрастает и при  $S = 8$  см близок к значению  $K$  при  $S = 4$  см.

При отрицательной полярности импульса с изменением  $S/D$  коэффициент импульса изменяется в менее широких пределах, чем при положительной полярности. Это вызвано более слабым влиянием ионизирующего излучения [6] при отрицательной полярности электрода. Лишь при уменьшении времени до пробоя ниже 0,2 мксек  $K$  при  $S = 4$  см растет несколько быстрее, чем для промежутков 6 и 8 см, так как статистическое запаздывание в малых промежутках с уменьшением предпробивного времени все же играет определенную роль.

Результаты проведенных нами экспериментов подтверждают, что время нарастания напряжения до пробоя — 1 мксек и даже 2 мксек — не обеспечивает сохранения гарантированной в стандартах точности. Так, при отрицательной полярности импульса дополнительная ошибка в изменении напряжения, вызванная запаздыванием разряда, составляет до 10% для предпробивного времени — 2 мксек (по данным [5] до 11,5%). При положительной полярности значение погрешности за счет запаздывания разряда для времени приложения напряжения 2 мксек составляет около 4%.



Измерение высоковольтных импульсов при пробое на фронте линейно нарастающего напряжения с суммарной погрешностью 3,5% возможно для импульсов отрицательной полярности лишь при времени до пробоя  $t \geq 20$  мксек, а для импульсов положительной полярности при  $t \geq 8$  мксек. При этом погрешность за счет запаздывания разряда составит не более 0,5%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bellaschi P. L., McAuley P. H., Electr. Journ., 31, 228 (1934).
  2. Bellaschi P. L., Teague W. L., Electr. Journ., 32, 120 (1935).
  3. Hagenguth J. H., Trans. Am. Inst. Electr. Eng., 56, 67 (1937).
  4. Hagenguth J. H., Trans. Am. Inst. Electr. Eng., 60, 803 (1941).
  5. Park J. H., Cones H. N., Spark-gap flashover measurements for steeply rising voltage impulses. «J. Res. Nat. Bur. Standards», 1962, C66, № 3, 197—207.
  6. Meek J. M., Journ. Inst. Electr. Eng., 93, 97 (1946).
  7. Garfitt D. E. M., Proc. Phys. Soc., 54 109 (1942).
-